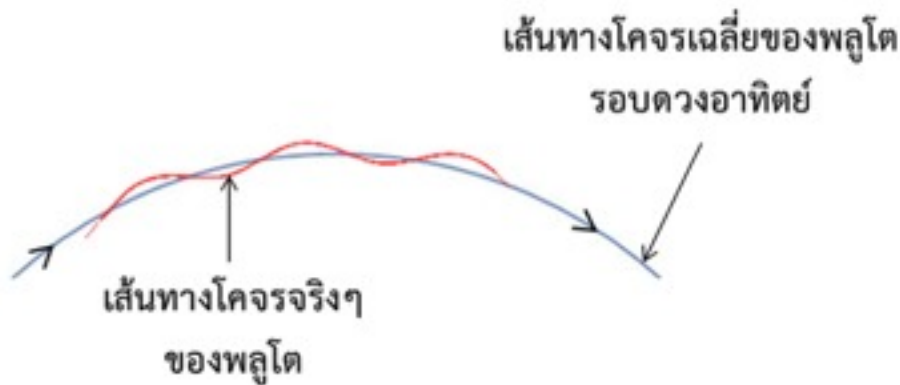
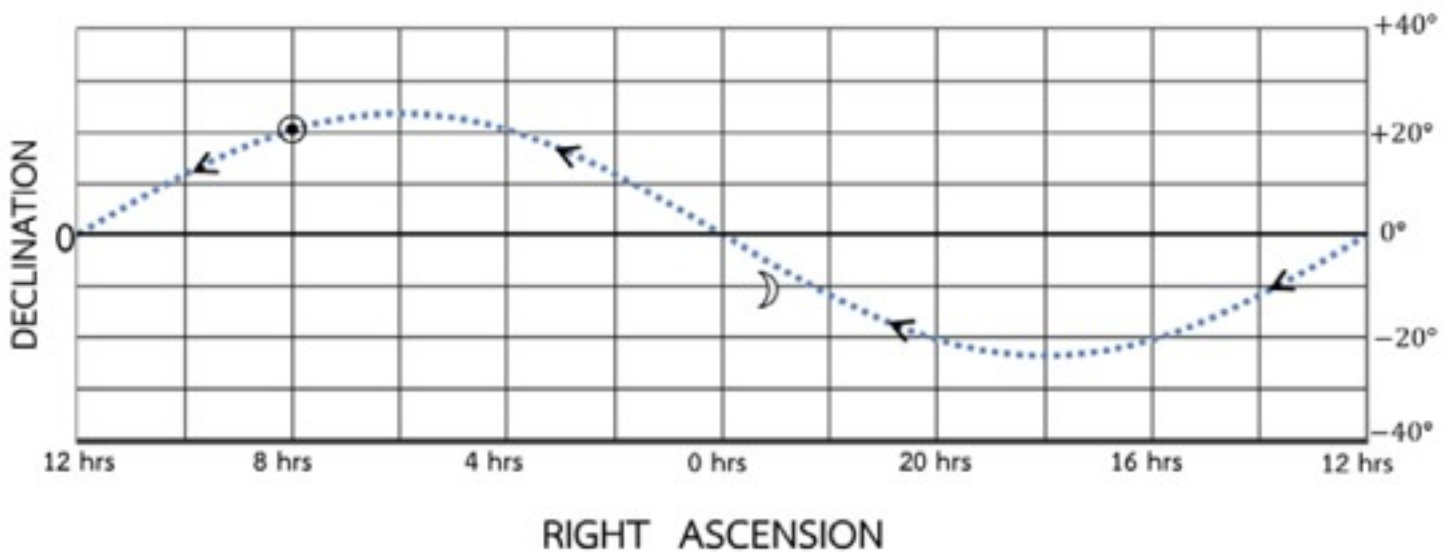


ดาวคู่และดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ

พลูโตส่าย (Wobble) ด้วยแอมพลิจูดเชิงมุมสูงสุดที่ฟิลิปดา รอบเส้นทางเฉลี่ยในรูปนี้ ซึ่งขณะนั้นอยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทาง 4.285×10^9 km และระนาบวงโคจรของซารอนตั้งฉากกับแนวเล็งจากโลก



ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์อยู่บนทรงกลมท้องฟ้าในแบบ Mercator เป็นดังรูป



1. จงหาว่าดวงจันทร์มีมุมห่าง (elongation) เป็นเท่าไร ในทิศใดเทียบกับดวงอาทิตย์
2. ในอีก 240 วันข้างหน้า จงหาว่าดวงอาทิตย์จะอยู่ที่ RA เท่าไร
3. ในอีก 7 วันข้างหน้า จงหาว่าดวงจันทร์มีมุมห่างเป็นเท่าไร ในทิศใดเทียบกับดวงอาทิตย์

ระบบดาวคู่มวล m_1 และ m_2 มีระนาบการโคจรขนานกับแนวสายตา (แนวเล็ง) ของผู้สังเกต เป็นวงกลมรอบจุดศูนย์กลางมวลซึ่งอยู่หนึ่งเดียวกับผู้สังเกตด้วยคาบ 8.6 ปี เส้นสเปกตรัมไฮโดรเจน (H_α : 656.281 nm) ของดาวทั้งสองมีการเลื่อนแบบดอปเปลอร์สูงสุด (Maximum Doppler shifts) ของ m_1 และ m_2 มีค่าเท่ากับ $\Delta\lambda_1 = 0.072$ nm และ $\Delta\lambda_2 = 0.068$ nm ตามลำดับ

จงหา

ก. ความเร็วสูงสุดในแนวเล็ง (maximum radial velocity) และ รัศมีวงโคจรของ m_1 และ m_2

ข. ระยะห่างระหว่าง m_1 และ m_2 ในหน่วย AU

ค. มวลของ m_1 และ m_2 ในหน่วยของมวลดวงอาทิตย์

1.1) ยานอวกาศที่กำลังเคลื่อนที่ตรงเข้าหาดวงอาทิตย์จากระยะไกลด้วยอัตราเร็ว 100 กิโลเมตร/วินาที และผู้สังเกตบนยานอวกาศสามารถตรวจพบแสงเลเซอร์ที่มาจากโลก

หากเส้นทางของยานอวกาศอยู่ในระนาบเดียวกับวงโคจรของโลก

แล้วความยาวคลื่นต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถสังเกตได้จากยานอวกาศมีค่าเท่าไร

(กำหนดค่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดบนโลกเป็น 700 นาโนเมตร

และไม่ต้องคำนึงถึงการหมุนรอบตัวเองของโลก)

1.5) ระบบดาวคู่ Kepler 16 ประกอบด้วยดาวฤกษ์ Kepler 16A และ Kepler 16B โคจรรอบกันด้วยคาบ 41 วันโดยมีระยะห่างจากกัน 30 ล้านกิโลเมตร โดย Kepler 16A มีมวลมากกว่า Kepler 16B มาก

ในปี ค.ศ. 2011 หอสังเกตการณ์อวกาศ Kepler ได้ตรวจพบดาวเคราะห์ทาตูอิน(Tatooine)

ที่มีขนาดใกล้เคียงกับดาวเสาร์โคจรรอบดาวคู่นี้

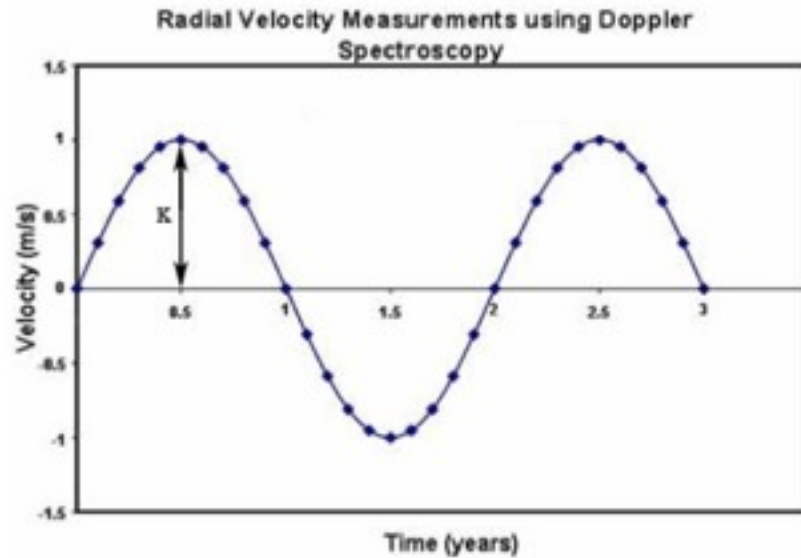
เมื่อสังเกตจากดาวเคราะห์จะเห็นดาวคู่เป็นเหมือนดวงอาทิตย์คู่

ดาวเคราะห์โคจรในระนาบเดียวกันกับระบบดาวคู่ด้วยวงโคจรวงกลมห่างจากจุดศูนย์กลางมวลของระบบดาวคู่เป็นระยะทาง 108 ล้านกิโลเมตร ด้วยคาบ 229 วัน

ก.) ผู้สังเกตบนดาวทาตูอินจะเห็นดาว Kepler 16B มีมุมอีลองเกชันสูงสุดมีค่าประมาณเท่าใด

ข.) ผู้สังเกตบนดาวทาตูอินจะเห็นดาว Kepler 16B ผ่านกลางหน้าดาว Kepler 16A ในทุกๆกี่วัน

ดาวฤกษ์ดวงหนึ่งมีมวลเท่ากับมวลของดวงอาทิตย์ จากการสังเกตการณ์วัดความเร็วในแนวตั้ง (Radial velocity) โดยใช้ Doppler Wobble หรือ Doppler Spectroscopy ได้ข้อมูลการสังเกตการณ์ดังกราฟ ถ้าดาวฤกษ์ดวงนี้มีดาวเคราะห์โคจรรอบเพียงดวงเดียว โดยมีระนาบวงโคจรทับกับแนวตั้งของเรา จงหาว่าดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะดวงนี้มีมวลเป็นเท่าไร?



1.5) ระบบดาวคู่ 40 Eri BC มีคาบวงโคจรเท่ากับ 247.9 ปี ระบบนี้มีมุมแพริแลกซ์ $0''.201$ และขนาดเชิงมุมของค่าครึ่งแกนหลัก (semi-major axis) ของมวลลดทอน (reduced mass) มีค่า $6''.89$ อัตราส่วนของระยะทางของ 40 Eri B ต่อ 40 Eri C จากจุดศูนย์กลางมวลมีค่า $\frac{a_B}{a_C} = 0.37$ จงหามวลของ 40 Eri B และ 40 Eri C

1.4) เมื่อสังเกตระบบดาวคู่ A,B ณ เวลาหนึ่ง พบว่า สเปกตรัมของดาว A มีเส้นดูดกลืน $H\alpha$ อยู่ที่ $H\alpha = 656.324 \text{ nm}$ ส่วนดาว B มีเส้นดูดกลืน $H\alpha$ อยู่ที่ $H\alpha = 656.565 \text{ nm}$ ในขณะที่ค่ามาตรฐานบนโลกของ $H\alpha = 656.281 \text{ nm}$ กำหนดให้ $\frac{v}{c} = 1$

- ก. จงหาความเร็วในแนวตั้ง (Radial velocity, v) ของดาวทั้งสอง
- ข. จงหาอัตราส่วนมวลของระบบดาวคู่

1.7) ถ้าระยะทางระหว่างดาวของระบบดาวคู่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แล้วคาบการโคจรของระบบดาวคู่จะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้าเปลี่ยนจะเปลี่ยนไปเท่าไร กำหนดให้มวลของระบบดาวคู่ยังอยู่เท่าเดิม

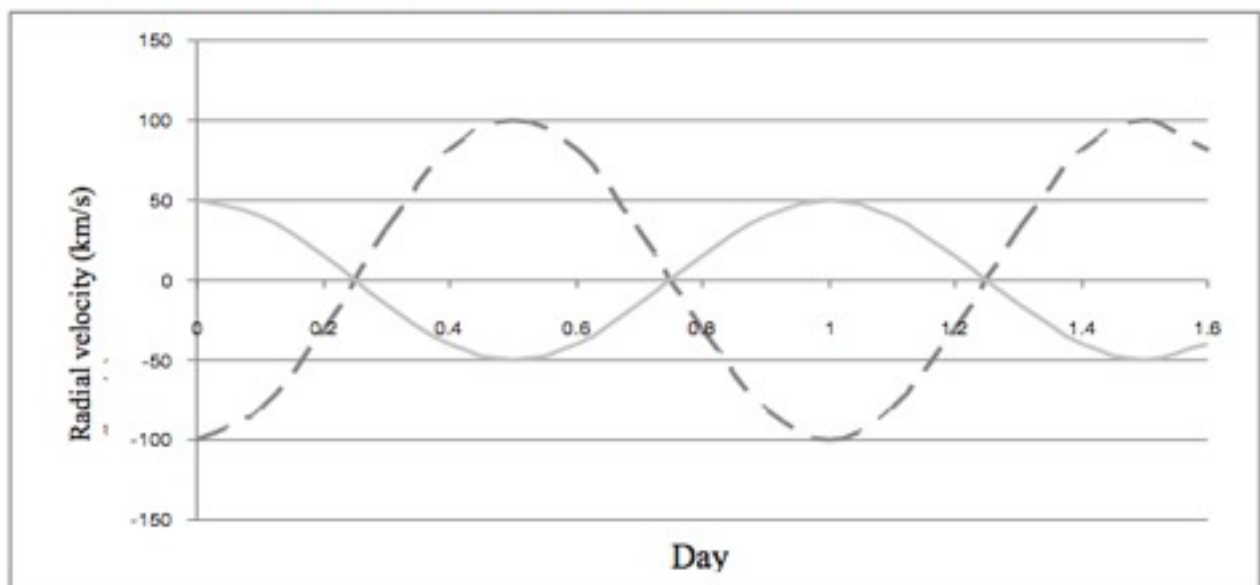
1.10) ระบบดาวคู่ประกอบด้วยดาว เอ และดาว บี ดาว บี ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เพราะดาว เอ มีความสว่างมากกว่าดาว บี ถึง 10,000 เท่า

(ก) ดาว เอ มีมุมพารัลแลกซ์ (parallax) $0.38''$ จงหาว่าดาว เอ อยู่ห่างจากโลกเท่าใด

(ข) ถ้าความสว่างหรือฟลักซ์ (flux) ของดวงอาทิตย์มีค่าเป็น 1.2×10^{10} เท่า ของดาว เอ จงหาค่ากำลังการส่องสว่าง (luminosity) ของดาว เอ ในหน่วยเท่าของดวงอาทิตย์ (L_\odot)

(ค) ดาว เอ และคู่ของมันคือดาว บี ต้องเป็นดาวประเภทใด หากดาวทั้งคู่มีสเปกตรัมชนิด A ให้ระบุตำแหน่งของดาวทั้งสองบน H-R Diagram

1.9) จากกราฟความเร็วของระบบดาวคู่นี้ ให้นักเรียนคำนวณหาอัตราส่วนมวล และมวลของสมาชิกทั้งสอง ทั้งนี้ให้ถือว่าระยะนาบวงโคจรขนานกับแนวสายตาและวงโคจรเป็นวงกลม



1.10) ระบบดาวคู่ระบบหนึ่งประกอบไปด้วยดาว A และดาว B จงคำนวณหาโชติมาตรสัมบูรณ์ของ B กำหนดว่าดาว A มีโชติมาตรสัมบูรณ์ 7.0 และความสว่างสูงสุดของระบบดาวคู่นี้มีโชติมาตรปรากฏเท่ากับ 6.0 ค่าพารัลแลกซ์ของระบบดาวคู่นี้มีค่าเท่ากับ $0''.1$ และไม่พิจารณาผลจากฝุ่นระหว่างดาว

การค้นหา Extra-Solar Planets นับว่าเป็นแขนงหนึ่งของดาราศาสตร์ที่นับว่ามีความตื่นตัวอย่างมากในหลายทศวรรษที่ผ่านมา โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะค้นหาดาวเคราะห์อื่นนอกระบบสุริยะที่มีสภาวะความคล้ายคลึงกับในระบบสุริยะของเรา ในปัญหาข้อนี้จะได้แสดงให้เห็นถึงความยากลำบากในการค้นหา

- ก. ถ้าระบบดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ (Extra-Solar Planets) ที่อยู่ห่างออกไป 10 pc มีดาวฤกษ์ที่เหมือนกันกับดวงอาทิตย์ (โชติมาตรโบลเมตริกสมบูรณ์, Absolute bolometric magnitude, เท่ากับ +4.75) และมีดาวเคราะห์ที่คล้ายกับดาวพฤหัสบดีมวล 1.9×10^{27} kg ประพฤติตัวเหมือนกับวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 122 K โดยมีรัศมีเท่ากับ 71,400 km โคจรรอบดาวฤกษ์ที่ระยะ 5.203 AU คาบการโคจร 11.86 ปี ความเร็ววงโคจร 0.048 กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลมีกำลังแยกเชิงมุม (angular resolution) อยู่ที่ประมาณ $0.1''$ สามารถตรวจพบวัตถุที่มีโชติมาตรน้อยกว่า +30 กล้องโทรทรรศน์ฮับเบิลจะสามารถตรวจพบดาวเคราะห์ดวงนี้ได้หรือไม่ ในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (visible) ด้วยเทคนิคโฟโตเมตรี (photometry) จงแสดงการคำนวณเพื่ออธิบาย
- ข. ถ้าเราใช้วิธีวัดการส่ายของดาวฤกษ์โดยดูจากอัตราเร็ววงโคจร (orbital speed) ของดาวฤกษ์ที่หมุนรอบจุดศูนย์กลางมวลของระบบดาวฤกษ์และดาวเคราะห์ จงคำนวณหาอัตราเร็วในวงโคจรของดาวเคราะห์นี้รอบจุดศูนย์กลางมวลของระบบ
- ค. ถ้าเทคนิคสเปกโตรสโคปี (spectroscopy) ในปัจจุบันสามารถวัดความเร็วของดาวฤกษ์ตามแนวรัศมีมีค่า $\geq 1 \text{ ms}^{-1}$ อยากทราบว่าค่าครึ่งแกนเอก (Semi-major axis) น้อยที่สุดของดาวเคราะห์ที่คล้ายกับดาวพฤหัสบดีที่จะตรวจวัดได้ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีมีค่าเป็นเท่าไร จงแสดงการคำนวณเพื่ออธิบาย

- 1.12 พิจารณาระบบดาวคู่ระบบหนึ่ง พบว่ามีคาบการโคจรรอบกัน 1 ปี โดยมีจุดศูนย์กลางมวลของระบบอยู่ห่างกับที่ และมีระยะครึ่งแกนยาว 2 หน่วยดาราศาสตร์ (A.U.) นักดาราศาสตร์ใช้สเปกโตรกราฟความละเอียดสูง วัดค่าทางดาราศาสตร์ วัดความเร็วในแนวเส้น (Radial velocity) ของระบบดาวคู่ดังกล่าว พบว่าค่าความเร็วในแนวเส้นที่มากที่สุดของสมาชิกดวงที่ 1 มีค่าเป็น 3 เท่าของค่าความเร็วในแนวเส้นที่มากที่สุดของสมาชิกดวงที่ 2 จงหาว่ามวลของสมาชิกแต่ละดวงของระบบดาวคู่นี้มีค่าเป็นกี่เท่าของมวลดวงอาทิตย์